DOI:10.14113/j.cnki.cn11-1316/j.2002.04.014

中国音乐学(季刊)2002 年第 4 期
MUSICOLOGY IN CHINA

□陈　通　戴念祖
Chen Tong　　Dai Nian-zu

贾湖骨笛的乐音估算

The Estimation of Musical Tones of the Bone Flutes in Jiahu Village

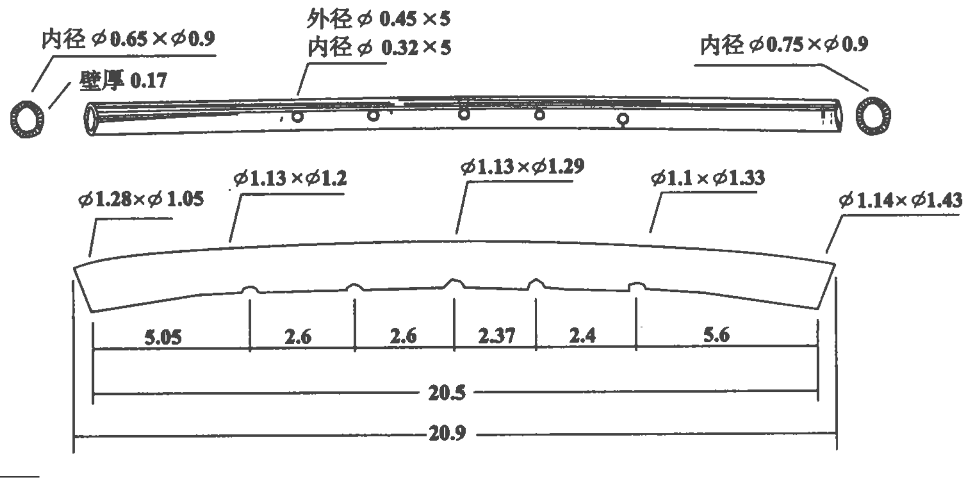
内容提要：本文对5支贾湖骨笛的可能音高作出声学计算，这些估算值可供贾湖骨笛的测音、音阶与乐律、演奏方式的正误判断作为参与。

关键词：贾湖骨笛　乐律　乐音估算

一、基本数据

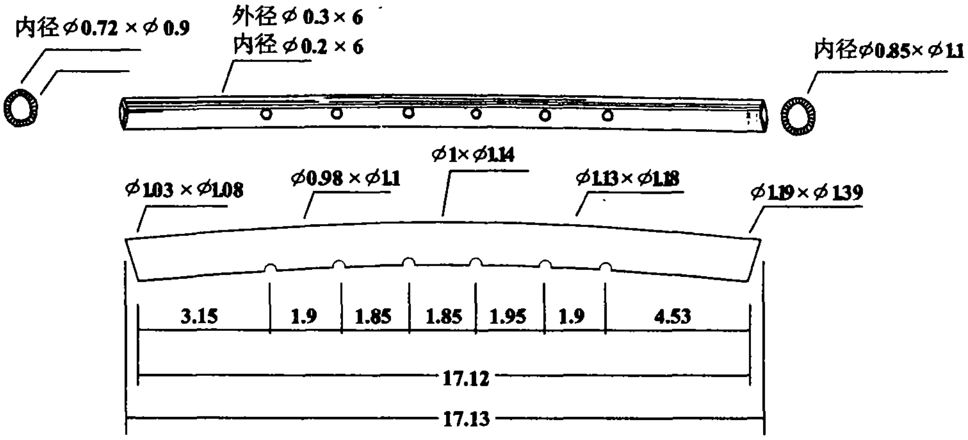
我们对 5 支贾湖骨笛作了声学估算。这 5 支骨笛分别是 M341：1，M341：2，M282：20，M282：21，M253：4。每支骨笛的基本数据包括：全长，相两音孔中心之距离，每个音孔的外径、内径，骨笛两端的内径与壁厚。这些数据全部源于河南省文物考古研究所编著《舞阳贾湖》一书。[1] 为了读者了解各支骨笛的形状和基本数据，我们将《贾湖骨笛》一书中所绘图与基本数据照搬照抄如下。

骨笛 M341：1

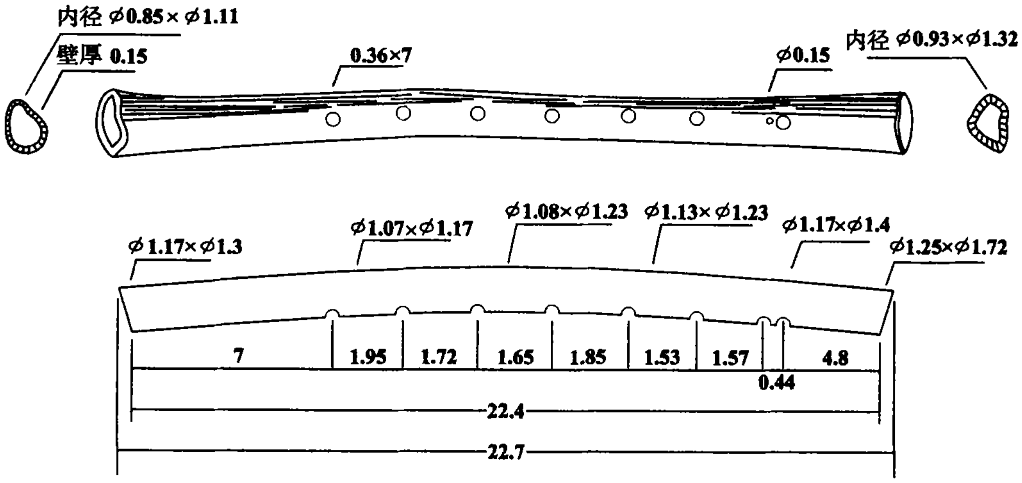


收稿日期：2002—06—06　　文章编号：1003—0042(2002)04—0027—05
作者简介：陈　通（1928—　），中国科学院声学研究所研究员（北京 100081）。
戴念祖（1942—　），中国科学院科学史研究所研究员（北京 100010）。

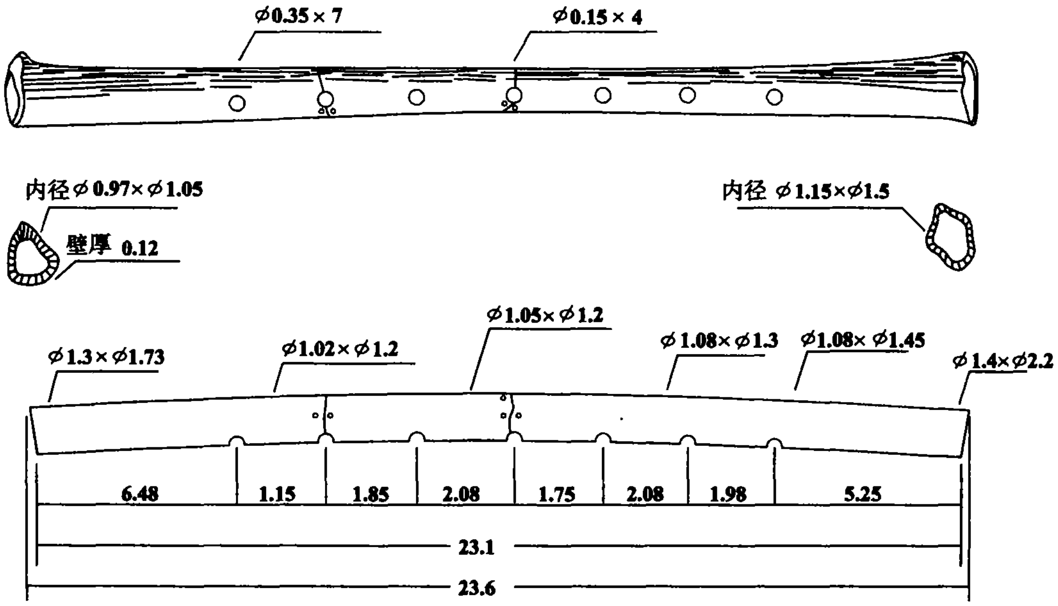
骨笛 M341: 2



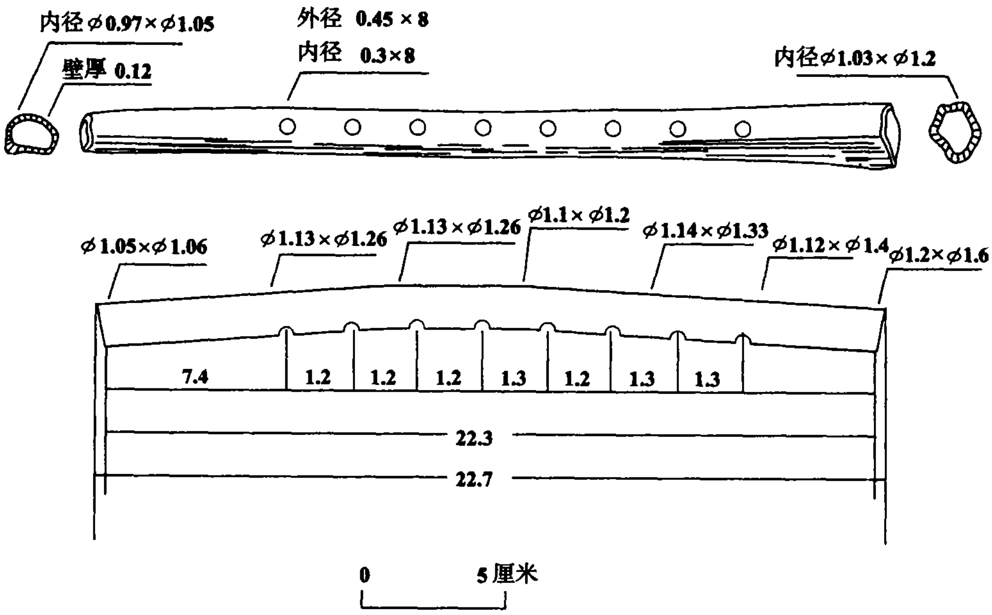
骨笛 M282: 20



骨笛 M282: 21



骨笛 M253：4



这 5 支骨笛的绘画尺寸与其实际之比例见 M253：4 之绘图下的比例示意。由上 5 图可见，这些骨笛形状是无规的，管壁厚度也无规可循。虽然它们基本上属于两端各为喇叭形口（锥形管），但各支管开口形状，剌叭长度亦不相同。在基本数据中，有的管也不完备，如 M341：2 的管端壁厚缺少测量数据。对这样的管乐器各孔发声音高作声学计算是一个非常复杂的问题，更何况每管的各个音孔都缺少音孔长度（即音孔所在的管壁厚度）这一重要数据。对这样的管乐器作乐音声高计算尚无现成的公式可依。有鉴于此，本文只能题名为“估算”。

绘图左端为吹口，音孔顺序从左到右排列。

二、估 算 方 法

先计算骨笛在声学上的等效长度 L，然后根据两端开口管的共振计算频率 f：

$$f=\frac{c}{2L}$$

c 是声速，取 340m/s。

将骨笛近似看作是从吹端起的筒形管和在开口端的锥形管组成的复合管。计算方法参考《唢呐的声频谱和音管的计算》[2] 一文，并根据骨笛的情况简化。

对于筒形管，$L=L_0+L_1+L_2$。 ……(1)

L_0 是吹端到所开启音孔的长度；L_1 是吹端的长度修正，与吹笛的情况有关。本文取

$$L_1=0.71\sqrt{A_1}\sim\sqrt{A_1} \qquad \cdots\cdots(2)$$

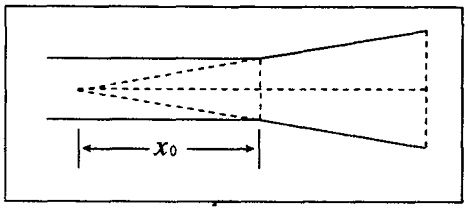
A_1 是筒形管的截面积。L_2 是音孔的笛管等效长度（相当于管端的长度修正），它的数值为：

$$L_2=\frac{L}{\pi}\tan^{-1}\left(\pi\frac{A_1}{A_2}\frac{t_e}{L}\right) \qquad \cdots\cdots(3)$$

这里，A_2 是音孔内侧的截面积。t_e 是音孔的等效长度。对于圆筒形音孔，其

$$t_e=t+1.4r \qquad \cdots\cdots(4)$$

t是音孔长度,即音孔处的笛管壁厚(本文基本数据中缺此测量数据),r是音孔截面半径;对于外侧大内侧小的音孔,如果音孔又是单一的一段圆锥管(实际上可能是部分为圆锥管),可按圆锥管计算音孔的等效长度、再加上音孔内侧的修正值0.8r。圆锥管音孔的等效长度X_0(见图1)为



$$X_0 = \frac{t}{(\frac{R}{r}) - 1}。 \quad \cdots\cdots(5)$$

(5)式中R,r分别是音孔外侧和内侧的截面半径。

由于(3)式中,L_2的计算式含有L,L又含L_2,因此L_2由数值解法求解。L_2由第1音孔(最高音)的计算而定,并将此计算值用于所有音孔计算中。

三、估算结果

M341:1 骨笛

按筒形管估算,A_1=0.74cm²,计算得L_1=0.86cm,L_2=2.246cm。

音孔	1	频率 2083.3Hz	(C_7−9)
	2	1579.9Hz	(G_6+11)
	3	1272.5Hz	($^\sharp D_6$+28)
	4	1080.7Hz	(C_6+34)
	5	937.7Hz	($^\sharp A_5$+5)
筒音		780.2Hz	(G_5−4)

M341:2 骨笛

按筒形管估算,假定其音孔长度(即骨笛壁厚)t=0.18cm,A_1=0.65cm²,计算得L_1=0.81cm,L_2=2.455cm。

音孔	1	频率 2649.9Hz	(E_7+12)
	2	2044.5Hz	(C_7−48)
	3	1672.4Hz	($^\sharp G_6$+11.2)
	4	1414.8Hz	(F_6+17)
	5	1217.3Hz	(D_6−27)
	6	1071.5Hz	(C_6+25)
筒音		932.5Hz	($^\sharp A_5$)

M282:20 骨笛,堵其小7孔

在第6音孔前为筒形管部分,其后为锥形管,X_0=24cm,A_1=0.48cm²,计算得L_1=0.49cm,L_2=1.7cm。

音孔	1	频率 1850.6Hz	($^\sharp A_6$−14)
	2	1526.6Hz	(G_6−42)
	3	1322.3Hz	(E_6+4)
	4	1171.9Hz	(D_6−3)
	5	1039.4Hz	(C_6−7)
	6	956.2Hz	($^\sharp A_5$+24)

7	873.8Hz	(A_5+6.2)
筒音	772Hz	(G_5−12)

M282:21 骨笛

筒形管部分的长度为 14.59cm,其余为锥形管,X_0=40cm,A_1=0.8cm^2,计算得 L_1=0.64cm,L_2=2.42cm。

音孔 1	频率 1782Hz	(A_6+22)
2	1590.3Hz	(G_6+30)
3	1355.7Hz	(E_6+37)
4	1162.8Hz	(D_6−12)
5	1038.5Hz	(C_6+8)
6	934Hz	($^\#A_5$+2)
7	852.6Hz	(G_5+22)
筒音	752.4Hz	($^\#F_5$+13)

M253:4 骨笛

等 8 音孔前为筒形管,其后为锥形管。X_0=30cm,A_1=0.8cm^2,计算得 L_1=0.9cm,L_2=2,49cm。

音孔 1	频率 1575.5Hz	(G_6+8)
2	1417.8Hz	(F_6+21)
3	1288.8Hz	(E_6−30)
4	1181.3Hz	(D_6+7)
5	1083.5Hz	($^\#C_6$−25)
6	1006.5Hz	(B_5+19)
7	943.6Hz	($^\#A_5$+11)
8	872.2Hz	(A_5−8)
筒音	736.6Hz	($^\#F_5$−6)

四、讨　　论

在以上所计算的各孔发声频率后,将其换算成音级,取 C=16Hz,C_4=261.3Hz 或 A_4=440Hz,音级后的加减数字为频率数。

有的音孔外侧大,这实际上相当于减小音孔等效长度。如 M253:4 的音孔,如外侧不扩大,te=0.33cm,实际上外侧扩大而使 te=0.264cm。又如 M341:1,音孔不扩大,则 te=0.4cm,实际为 te=0.33cm。te 减小,L_2亦随之减小。

以上各笛计算结果基本上与《舞阳贾湖》一书中所测的数据相近。其中,M341:2 中前三个音孔与测音值稍有不同,可能是因为该管的实际几何形状与计算所假定的筒形管有差别;M282:20 的第 6、7 两音与实测音之差,当是小七孔之影响;M282:21 第 2 孔有破损,影响测音;M253:4 的第 3、6 音的计算值与测音值之小差,又是管子的实际几何难于把握所致。

这些计算数值仅作为骨笛测音吹奏作参考。如若偏离计算值太大,可判演奏非常态。

参 考 文 献

[1] 河南省文物考古研究所编著,《舞阳贾湖》,科学出版社,1999,页 992—1002。
[2] 陈通,蔡秀兰,唢呐的声频谱和音管的计算。《声学学报》第 21 卷(1996)第 6 期,页 893—897。

(责编:张振涛)